



La percepción humana del tiempo: un sesgo, una ilusión, una ecuación

Time perception in humans: a bias, an illusion, an equation

Luis Carlos Álvaro González^{1,2}

¹Servicio de Neurología, Hospital Universitario Basurto, Bilbao;

²Departamento de Neurociencias, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Leioa, Bizkaia

Resumen

El tiempo es un concepto complejo que encierra dimensiones antropológicas (calendarios), físico-matemáticas y biológicas (tiempo celular, relojes biológicos y tiempo mental). El tiempo físico aceptado y objetivo es el modelo de la Teoría especial de la relatividad, que entiende el tiempo como una dimensión del espacio. En este espacio-tiempo se despliega el universo. Este es una estructura curvada que conforma la propia materia y que determina los movimientos de los cuerpos en aquella, de manera que la gravedad no es una fuerza, sino el resultado de una forma geométrica. Einstein entiende el universo como un todo que es y en el que estamos. Las ecuaciones físicas admiten la retroactividad y los viajes en el tiempo, aunque en la práctica sean inviables por la flecha del tiempo propia del segundo principio de termodinámica, que determina la tendencia inevitable al desorden o mayor entropía. En estas leyes y geometría surgió la vida, con la Teoría darwiniana operativa solo a partir de entonces. El tiempo mental es un tiempo subjetivo diferente del objetivo del espacio-tiempo en el que estamos. Nos permite adaptaciones y construir la memoria que nos hace, en el contexto de una conciencia que en buena parte es un sesgo o ilusión adaptativa de la mente. Piaget determinó que su comprensión se alcanza a los nueve años. Es función del lóbulo parietal, donde coinciden tanto las representaciones de espacio y de tiempo como la numérica necesaria para su cuantificación. El lenguaje construye el tiempo a partir de metáforas espaciales. Evidencias neurofisiológicas y clínicas se alinean en la misma dirección del espacio-tiempo como concepto, la gran idea de Einstein. Los trastornos de la percepción del tiempo pueden ser no solo individuales, sino sociales, por miopía temporal, con consecuencias para sociedades y naturaleza.

Palabras clave: Tiempo. Dimensiones del tiempo. Tiempo mental. Percepción del tiempo. Ilusiones de conciencia. Miopía social.

Abstract

Time is a complex concept that encompasses anthropological (calendars), physical-mathematical and biological (cellular time, biological clocks, and mental time) dimensions. The special theory of relativity is the current physical model, an elegant conception where time is a dimension of space. The universe is merely deployed in the space-time. This universe is curved, with a form that is modelled by matter, which will determine body movements into it. Under this conception gravity is not a force, but the mere result of a geometrical form. For Einstein, the universe is a whole where we are. Physical equations are equal in both directions, so that time travel is a true possibility. Nevertheless, this is unfeasible due to the arrow of time that results from the second law of thermodynamics. According to it, there is an irreversible trend towards higher entropy and disorder. This geometry and laws enabled the emergence of life. Only from that moment onwards the Darwinian theory will rule. Mental time is subjective, distinctly to the former objective physical time where we are. This subjectivity enables adaptations and so to build our memory. Memory sculpts our mind into a consciousness that to a great extent is an adaptive mental illusion. According to Piaget, the comprehension of time is reached only at nine years. This function is hosted in the parietal lobe, where the space and also the numerical series are represented. Language builds the idea of time from spatial metaphors. Likewise, neurophysiological, and clinical evidences point in the same direction of space-time as the key concept that Einstein envisioned. Disorders of time perception may be a matter of individuals and also of societies, where temporal myopia could produce serious collective consequences, including those in nature.

Keywords: Time. Dimensions of time. Mental time. Time perception. Consciousness illusions. Social myopia.

Autor de correspondencia:
Luis Carlos Álvaro González
E-mail: luisarlosalvaro@yahoo

Fecha de recepción: 20-09-2022
Fecha de aceptación: 02-10-2022
DOI: 10.24875/KRANION.M22000044

Disponible en internet: 29-11-2022
Kranion. 2022;17:151-8
www.kranion.es

Decía San Agustín con respecto al tiempo que «si nadie me lo pregunta, lo sé; pero si pretendo explicar qué es a quien me lo pregunta, entonces, no lo sé». Si nos detenemos a pensar sobre este aspecto, nos percataremos de que realmente es así: siendo tan cotidiano, pues forma parte de múltiples facetas de nuestra vida, realmente no sabemos muy bien a qué nos referimos al hablar del tiempo. Incluso dudamos de hechos tan básicos como diferenciar si estamos en el tiempo o si, por el contrario, el tiempo es una mera creación de nuestra mente, de manera que sería él el que está en nosotros. En el presente trabajo intentaremos dar respuesta a esas dudas (y a otras). Nos enfrentamos a un asunto espinoso, que ha ocupado a filósofos, literatos, físicos, matemáticos, psicólogos y neurocientíficos (de los que la comunidad neurológica puede considerarse parte) durante siglos. A nuestro modo de ver, esto indica que la complejidad del tema se debe en buena parte a que implica todas esas dimensiones o, dicho de otra manera, a que existen puntos de conexión y contacto entre ellas, de manera que descubrir los vínculos entre lo que es propio de nuestra especialidad y lo que es ajeno, pero parte consustancial de un mismo conocimiento, va a enriquecer la comprensión de este. Este es precisamente el reto que afrontamos: penetrar en dimensiones del tiempo en apariencia ajenas a nuestro territorio clínico, para así entender mejor aquello de lo que hablamos. Las fronteras entre disciplinas son muchas veces artificiosas. Si se traspasan, por difícil que parezca, se descubre una visión más amplia que es válida especialmente en conceptos de la complejidad como el que nos ocupa. A esto nos encaminamos.

LAS MÚLTIPLES DIMENSIONES DEL TIEMPO

En una primera aproximación, el tiempo puede ser contemplado desde tres perspectivas¹: tiempo antropológico, tiempo físico-matemático y tiempo biológico.

Tiempo antropológico

El tiempo antropológico es el tiempo de los calendarios. Surge en el Neolítico con las ciudades, cuando los humanos tenemos necesidad de alguna referencia para situar los eventos pasados y futuros. Se recurrirá a grandes sucesos históricos. Han de ser de conocimiento universal y además deben poder ser situados en una escala que nos permita contar mediante un sistema numérico que sea ilimitado en ambos sentidos, hacia adelante y hacia atrás. En nuestra sociedad es el nacimiento de Jesucristo, en otras culturas la referencia es o han sido otros sucesos históricos. Esta primera aproximación ya nos permite afirmar que, antes de la organización social del Neolítico, el tiempo como tal no existía, simplemente porque no se necesitaba. Teniendo en cuenta que las primeras ciudades tienen unos 5.000 años y que el *Homo sapiens* pasa de los 150.000 años, este dato nos habla

de la subjetividad del concepto, al menos en esta dimensión antropológica. La división del calendario y la marcación de eventos se depura aún más con los primeros relojes mecánicos de cierta precisión, que surgen en la Edad Media, con el objetivo de facilitar la vida monacal, tan estructurada en periodos diferenciados a lo largo del día. Finalmente, el tiempo adquiere nuevos valores, ligados a la productividad, al movimiento y a la eficiencia, a partir de la revolución industrial, con la que se generaliza el uso individualizado de relojes y de instrumentos de medida de alta precisión.

Tiempo físico-matemático

El tiempo físico-matemático es el más complejo^{2,3}. Por eso le dedicaremos una parte considerable del trabajo. Aquí queremos señalar que puede dividirse en tres periodos cronológicos: el aristotélico/ptolomeico, que va desde el siglo III a.C. hasta en el siglo XVII; el newtoniano, que se prolonga entre los siglos XVII y XX; y el einsteniano, que representa el modelo del tiempo vigente.

Tiempo biológico

A su vez, el tiempo biológico, tercero y último de la clasificación, puede subdividirse en tres modalidades⁴:

- Tiempo celular, pues cualquier célula está capacitada para diferenciar intervalos o estímulos sucesivos, sean señales químicas, físicas eléctricas o de otro tipo, o mixtas. Las neuronas son el mejor ejemplo, pues responden a estímulos en los que, por ejemplo, la frecuencia de la descarga puede ser decisiva para una respuesta diferenciada de estímulo o de inhibición.
- Relojes biológicos. Son los que marcan los biorritmos, como el de sueño-vigilia, las variaciones en las secreciones hormonales, el crecimiento o la reparación celular, entre otros. El regulador principal es el hipotálamo, concretamente el núcleo supraquiasmático, cuya lesión genera enfermedades con las que los neurólogos estamos familiarizados. Este aspecto escapa de los objetivos del presente trabajo.
- Tiempo psicológico o mental. Es, junto al físico-químico, el más interesante a nuestros efectos. A él dedicaremos la última parte de este ensayo, en la que mostraremos la lejanía o discordancia entre el primero, objetivo, y el tiempo mental, subjetivo.

EL TIEMPO FÍSICO ARISTOTÉLICO Y EL NEWTONIANO

El modelo de universo dominante más prolongado durante la historia es el aristotélico (siglo III a.C.), afianzado por el ptolomeico (siglo I), que se mantuvo vigente hasta el siglo XVII, cuando Newton publica los *Principia Mathematica* (1687) y arranca el modelo newtoniano, que

sería el aceptado hasta hace un siglo, cuando nació el einsteniano, a fecha de hoy el más vivo. Antes de adentrarnos en este último conviene que señalemos los rasgos básicos de los dos primeros modelos. En el aristotélico el universo es finito, la Tierra es el centro de este y los constituyentes son los cuatro elementos clásicos: tierra y agua, que tenderían a caer y a hacerse dominantes en la Tierra, y aire y fuego, que se elevan y forman el resto del universo. En cambio, en el modelo newtoniano el universo es infinito y carece de centro. Estaría constituido por partículas que son comunes (sin diferencia entre la Tierra y el resto) y adoptaría su forma final gracias al movimiento planetario y galáctico en respuesta a leyes mecánicas que permiten prever situaciones futuras (y pasadas) de manera fiable.

La mecánica newtoniana fue criticada por su contemporáneo, el físico y filósofo Leibniz. Para este autor alemán, el espacio y tiempo, tan reales en la física de su colega inglés, no serían sino esquemas mentales prácticos que utilizamos para representar relaciones entre objetos y entre sucesos. Se entiende bien que se cuestione la entidad propia de espacio y tiempo. Basta mirar alrededor de uno mismo para percatarse de que lo que tenemos a la vista son objetos con unas distancias y relaciones entre ellos, algo similar a lo que pasa con el tiempo y con los sucesos insertos en este. Si moviéramos globalmente fragmentos amplios del espacio o/y tiempo de nuestra experiencia no nos percataríamos del cambio, una prueba incuestionable en favor de la subjetividad de los mismos que propuso Leibniz. Nuestro propio cuerpo se incluye en ese sistema de relaciones entre objetos y eventos de forma que, si todos ellos se desplazan simultáneamente sin cambiar la relaciones entre ellos, no lo apreciaremos. Quien haya visto la película *Cube* de Vincenzo Natali (1997) recordará escenas en las que se revela este fenómeno.

Otra limitación de la física newtoniana que cuestiona igualmente la realidad de espacio y tiempo es lo que ocurre cuando nos desplazamos a velocidad constante. Bajo esta, ni nosotros experimentamos sensación de cambio, ni los objetos lo harán en su posición relativa. Galileo lo había demostrado un siglo antes de Newton en un camarote cerrado de una embarcación que se movía a velocidad fija: ni las mariposas que volaban, ni los juegos de manos malabares, ni los saltos acrobáticos experimentaban cambio alguno, incluyendo nuestra propia percepción. La física newtoniana establece la ley esencial de que la fuerza aplicada a un cuerpo es igual a su masa multiplicada por su aceleración ($F = m \times a$), de manera que cuando la velocidad no cambia (es decir, en ausencia de aceleración) no hay capacidad predictiva del desplazamiento más allá de que el cuerpo siga una trayectoria lineal silente para nuestros sentidos.

La cuestión esencial permaneció abierta aún tres siglos. Si espacio y tiempo no son cosas u objetos en sí mismos, sino meros esquemas mentales, ¿cuál es la estructura intrínseca del espacio y del tiempo que permite

que entendamos el movimiento predecible de los objetos según las leyes de la mecánica newtoniana? Al limitarnos a reconocer la estructura del espacio y del tiempo como resultado de su efecto en el movimiento de los objetos volveríamos al punto de salida del cubo de la película citada o la habitación del barco de Galileo que se desplazan sin percatarnos. Se necesitaba un salto cualitativo del modelo. Lo dio Einstein con la Teoría de la relatividad especial, de 1905.

EL ESPACIO-TIEMPO EINSTENIANO

El concepto clave es el de espacio-tiempo, es decir, que ni tiempo ni espacio tienen entidad propia, sino que es el espacio-tiempo el que la adquiere. Es el resultado de considerar al tiempo una dimensión más del espacio, que así pasaría de tres a cuatro. En este espacio-tiempo estarían desplegados todos los objetos y todos los eventos. Dentro de su estructura pueden determinarse la posición o coordenadas de cualquiera de ellos, o sus relaciones, mediante un complejo proceso de ecuaciones en el que el fundamento es la velocidad de la luz o c (300.000 km/s), constante y no superable. Expliquemos brevemente estas ideas.

La solución a las debilidades de la teoría newtoniana habría de esperar a los experimentos y ecuaciones de electromagnetismo de Maxwell. Se demostró que estas sí poseían la sensibilidad a las limitaciones de aquella para la detección de cambios de localización, dirección y diferencias en estados de movimiento uniforme. El elemento clave es c , la velocidad de la luz, que es constante independientemente del foco en el que se origine y de que este esté en movimiento o no. Este aspecto crucial generó nuevas paradojas, puesto que c efectivamente no se modificaba cuando la medición se comparaba entre dos direcciones opuestas del movimiento de la Tierra (v), de manera que la resultante sería una contradicción matemática, nada menos que: $c - v = c$.

La respuesta a este nuevo enigma habría de esperar unos años más, a Einstein y su teoría de la relatividad especial. En ella, espacio y tiempo tienen unas coordenadas propias que permiten una localización precisa de cualquier evento. Estas coordenadas fueron propuestas inicialmente con un origen y escalas arbitrarios. Fue gracias a Hermann Minkowsky, el profesor de matemáticas de Einstein, como se evitó esta limitación y se logró la matematización del espacio-tiempo. Se trata de 10 ecuaciones para cada punto cuya resolución es bastante compleja. El propio Einstein las dio por válidas, reconociendo su limitación en este proceso dedicado como estuvo a la abstracción mental física pura. Con este procedimiento se encontró la solución al enigma citado más arriba. No varía c ni en realidad tampoco las mediciones de espacio o tiempo. Lo que ocurría es que se medían por observadores en distinta posición y así cambiaba el resultado. Este factor es suficiente para que el tiempo parezca dividido y diferente cuando la medición se hace por dos

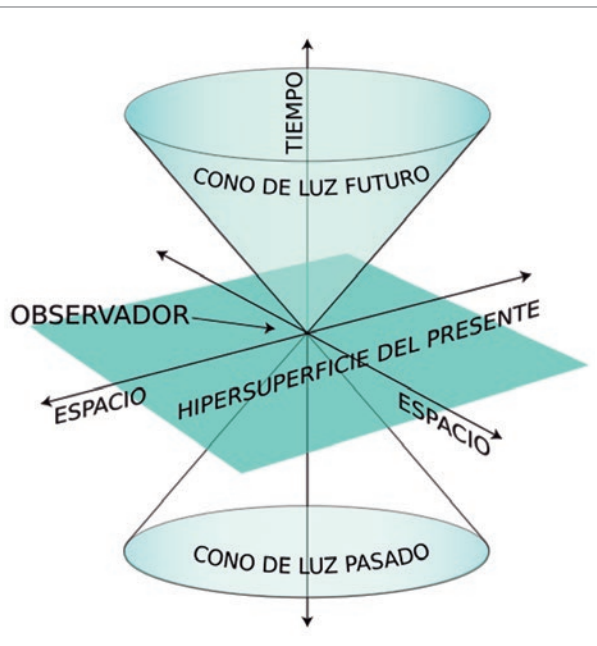


FIGURA 1. Espacio-tiempo de Minkowski. Ejemplo de cono de luz que permitió entender la estructura del universo, con los eventos pasados, actuales y futuros presentes en él. Lo que queda fuera de un cono es el *absolute elsewhere*. La multiplicidad de estos conos genera la malla del universo (Fig. 2).

observadores ubicados en puntos distintos, o igual cuando lo que se mide es c y se compara con otra velocidad, pues ninguna es superior a c . Si los dos observadores obtenían resultados diferentes para una misma medición de espacio (y tiempo), trasladar estas diferencias a escala del universo generaría errores inaceptables, de ahí la necesidad de la precisión matemática que proporciona la Teoría especial de la relatividad de Einstein con las ecuaciones de su maestro Minkowsky.

La propagación de la luz ha proporcionado, además, la propuesta de un modelo intrínseco de universo que aparece representado en la figura 1. Cada punto de un cono cualquiera de luz tiene en su interior unos sucesos antecedentes y otros posteriores dentro de un universo de conos de luz en el que se distinguen bien pasado, presente y futuro, con el llamado *absolute elsewhere* para todos aquellos sucesos que queden fuera de un cono determinado. Esta estructura de conos forma una malla. Es esta la configuración real del espacio-tiempo, en verdad alejada de la imagen lineal del tiempo de nuestra mente: los sucesos se emplazan en rebanadas espacio-temporales dentro de conos de luz que pueden ser diferentes, de modo que, paradójicamente, la linealidad clásica pasado-futuro puede ser difícil de perfilar en la malla, incluso con unas coordenadas precisas. Así se alcanza una nueva concepción geométrica del espacio-tiempo, con c (constante) como fundamento. Es de gran elegancia, pues en ella caben todos los sucesos, que

fluyen con naturalidad dentro de coordenadas precisas que no se ajustan a trayectorias lineales newtonianas clásicas.

Así planteada la relatividad general, nos lleva directamente a las consideraciones filosóficas propias del debate ya clásico sobre el tiempo entre los partidarios de Heráclito y los de Parménides. Para Heráclito todo es flujo, de modo que no podemos bañarnos dos veces en el mismo río. El rasgo básico de la realidad sería el cambio, la transitoriedad, y por tanto el presente, pues el flujo continuo devora lo pasado. En contraste, para Parménides, el universo es constante, sin cambios y eterno. Más que un comienzo y una destrucción final se trataría de una totalidad en la que el carácter esencial es la permanencia. En esta, pasado, presente y futuro son distinciones ilusorias, pues el universo simplemente es y está, en su totalidad¹. El punto de vista de Parménides coincide con la Teoría general de la relatividad, tal como el propio Einstein confirmó: el tiempo no es como el espacio, sino parte de él, no hay futuro, que ya está en el espacio-tiempo del universo, y por esta misma razón tampoco existe el cambio en el universo. La imagen en 4D del espacio-tiempo no cambia por más que lo hagan los elementos que están en ella, incluidos nosotros y cuanto nos rodea. La malla estructural del universo convierte nuestro tiempo lineal en una ilusión.

Nos queda mencionar la Teoría de la relatividad general, diez años posterior (1915) a la especial, también llamada restringida, antes expuesta. Todo ese tiempo ocupó a Einstein entender el fenómeno de la gravedad, que era el fundamento de la teoría newtoniana y que no llegaba a encajar en su Teoría especial pese a que ya reemplazaba a aquella como modelo de universo. Pensando en términos de geometría espacial, de aceleración y de cambios de esta a altas velocidades tanto en ascenso como en descenso, alcanzó a intuir una explicación que permitía entender el desplazamiento de los cuerpos en el universo. Se trataría, de nuevo, de un fenómeno geométrico: el espacio-tiempo del universo no es lineal, sino curvado, sinusoidal, como esas superficies elevadas con pendientes y descensos. Sobre esta, los cuerpos no siguen un trayecto lineal, sino curvilíneo y ajustado a esa forma. La consecuencia es que los planetas y la materia espacial en general no se desplazan porque se atraigan, sino simplemente porque siguen la superficie curva del espacio-tiempo (Fig. 2). Es la propia materia la que curva el espacio-tiempo, adoptando una forma que luego siguen los cuerpos. La materia dicta la forma del espacio-tiempo y luego este el movimiento de los cuerpos. Así, la gravedad dejaría de ser una fuerza para convertirse en un puro resultado de una geometría a escala universal. Se trata de una geometría no lineal/euclidiana, la propia de los espacios curvos mayores de dos dimensiones que describiera Gauss y perfeccionó Riemann en la geometría que lleva su nombre y que utilizó el propio Einstein⁵. La Teoría general, que inicialmente fue un modelo hipotético, ha recibido varias confirmaciones experimentales. La prime-

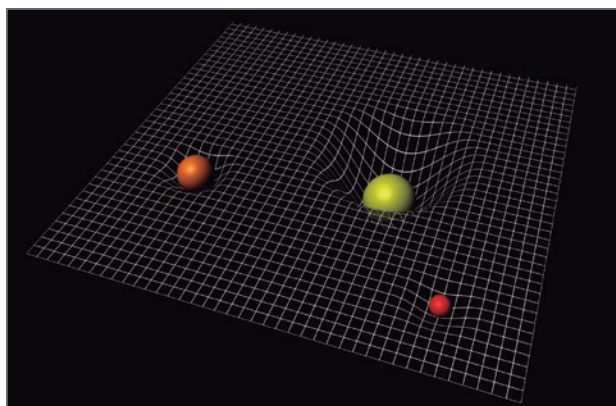


FIGURA 2. Estructura curvada y en malla del universo. Viene determinada por la propia materia. Los cuerpos se desplazan por su superficie, movimientos que son el resultado de una forma geométrica, no de la gravedad newtoniana (ESA - C. Carreau).

ra fue en 1919, de tipo óptico, al observar que en un eclipse solar contemplado desde la costa oeste africana los rayos de luz eran curvados por la fuerza gravitacional del Sol, un fenómeno único sin otra explicación posible. Siguieron otras, la más concluyente en 2015, cuando la fusión de dos agujeros negros dio lugar a explosiones de enorme magnitud energética y a ondas gravitacionales que seguían una trayectoria curva dibujando el espacio-tiempo que había previsto Einstein un siglo antes⁵. Fue noticia en los medios de comunicación⁶.

Nuestros conocimientos del universo son por fuerza limitados. Derivan del hecho de que solo nos alcanza la fracción mínima de luz que cruza la esfera terráquea. A partir de esta realizamos inferencias para el universo entero. Con esta cautela, el modelo cosmológico vigente es el de un espacio-tiempo einsteniano que adopta una forma como la de la figura 3. Se conoce como modelo estándar del universo. La materia, infinita y densa, se habría originado en un momento que las ecuaciones llevan 140.000 millones de años atrás, a partir de un máximo de densidad, calor y energía del que surgió el *big bang*. Desde entonces, crece, expandiéndose en una figura geométrica en 4D en la que sus constituyentes se separarían como las partículas de un balón que se hinchara.

VIAJES EN EL TIEMPO

La teoría de la relatividad da lugar a paradojas difíciles de explicar desde el sentido común. Una de las más populares es la de los gemelos viajeros. Si se coloca a dos gemelos en el espacio viajando a velocidades de la luz, de modo que uno de ellos quede en una estación espacial y el otro siga su viaje para retornar 20 años después, nos encontraremos con que el segundo ha envejecido dos años, mientras que el primero (el de la estación espacial estable de la espera) lo habría hecho 20. ¿Por qué ocurre esto? ¿Por qué parecen enlentecer los

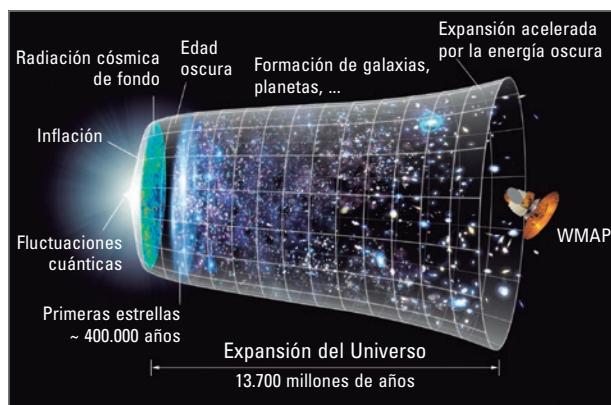


FIGURA 3. Modelo estándar del universo originado a partir del máximo de energía y densidad y la menor entropía y masa del *Big Bang*. El segundo principio de la termodinámica dicta su expansión, creciente de entropía y enfriamiento inevitables (NASA/WMAP Science Team, IAC).

relojes biológicos a velocidades c ? La respuesta está en la geometría espacio-temporal. Resulta que estos viajes son como los reales en los que se llega al punto de destino por diferentes atajos. Los gemelos siguen coordenadas espacio-temporales diferentes del espacio-tiempo, de modo que lo que medimos es la longitud de esta, no el paso del tiempo, una ilusión ajena al espacio-tiempo einsteniano. El mismo fenómeno se genera con las partículas llamadas muones, formadas al penetrar en la atmósfera a alturas de unos 15 km. Tienen una vida media muy corta (2,2 ms), así que no deberían detectarse más allá de unos 600 m desde que se generan. Sin embargo, pueden demostrarse en la superficie terrestre, una paradoja similar a la de los gemelos. Se explica igualmente porque viajan en el espacio-tiempo a velocidades próximas a las de la luz, con lo que el tiempo se dilata por un factor de 12, lo que les permite alcanzar la superficie terráquea de los 15 km antes de desintegrarse¹.

Las ecuaciones físicas de la relatividad, igual que las de la óptica, las de la mecánica newtoniana o las del electromagnetismo, son reversibles. Esto significa que funcionan igual en ambos sentidos. La igualdad se mantiene hacia la derecha y hacia la izquierda, de manera que con álgebra elemental se demuestra que las variables de las ecuaciones (incluido el tiempo) son idénticas en uno u otro lado, en uno o en otro sentido. Por tanto, desde una perspectiva físico-matemática, los viajes en el tiempo son posibles: ir hacia atrás para presenciar e incluso cambiar el mundo del futuro, que sería el presente desde la perspectiva del pasado al que hemos viajado. Se cumpliría un deseo universal en los humanos, ilustrado en la literatura de ciencia ficción desde los tiempos de H.G. Wells y su *Time Machine*⁷. Estamos lejos de esta posibilidad por razones múltiples. Primero, por puro sentido común: viajar al pasado y modificarlo significa un mundo futuro (el presente) que sería otro, pues es verosímil que incluso nosotros no estuviéramos en él tras

haberse modificado, un absurdo por simple lógica. Pero, además, hay razones físicas que lo convierten en imposible, pues tendríamos que viajar a velocidades superiores a.C. Esto no es factible para la biología ni tampoco para la física, puesto que se impondría una ganancia progresiva de masa que a su vez precisaría de un aporte desmesurado de energía (se explica desde la clásica ecuación $E = m \times c^2$). Por si esto fuera poco, las 10 ecuaciones de Minkowsky tan complejas de resolver para cada punto de las coordenadas se convertirían en un reto hercúleo para toda una trayectoria de la rebanada espacio-temporal del viaje.

Pero hay una explicación que está por encima de las anteriores. Es la que dicta el segundo principio de la termodinámica, que marca una dirección única, una auténtica flecha del tiempo. Recordará el lector que el primer principio establece que la cantidad de energía del universo es constante, de forma que no cambia, sino que solo se transforma. El segundo es más importante a nuestros efectos. Señala una tendencia progresiva y creciente al desorden en el universo desde su nacimiento u origen. Y aquí el término desorden puede resultar paradójico de entender, puesto que lo que indica es que hay una tendencia a la disolución de los patrones, formas o estructuras originarias, de tal manera que se generaría una situación de estabilidad u homogeneidad que carecería de los rasgos o fuerza iniciales. Si no aportamos energía y cuidados, el helado se deshace y el hermoso patrón de nata en la superficie de un café se diluirá al enfriarse. Lo mismo ocurre en los organismos vivos y en nuestros tejidos, abocados al desorden propio del aumento de entropía que dicta el segundo principio. Mantener baja la entropía u orden del estado inicial (el café capuchino con su hermoso dibujo, la forma del helado o la pared endotelial lisa en las bifurcaciones arteriales) implica un aporte energético sostenido y caro. En el universo, como en sus constituyentes, termina por triunfar el segundo principio y la tendencia a la mayor entropía, la tibieza de un falso orden propio de lo decadente y amorfo que el paso del tiempo (por fuerza en sentido único) termina por generar. Jorge Luis Borges, uno de cuyos temas predilectos fue el tiempo, nos dice que «la entropía es la gradual desintegración de las fuerzas que componen el universo; una vez alcanzado el máximo de entropía será calor equilibrado, inmóvil e igual. Entonces habrá muerto»⁸. Nacido en un estado de mínima entropía, se encuentra en expansión dentro de un proceso creciente de esta, propio de unas leyes físicas que no distinguen pasado y futuro, sino tan solo la tendencia al desorden. Esa es la flecha del tiempo.

DE LOS GRADIENTES TERMODINÁMICOS A LA COMPLEJIDAD Y A LA VIDA

La termodinámica es consecuencia de la revolución industrial y de los motores de vapor. Este gran avance condujo al estudio de la física de gases y de sus partículas. Pudo determinarse la cantidad de estas, e incluso

desarrollar ecuaciones matemáticas capaces de prever la evolución espontánea de esas partículas gaseosas hacia cualquier forma propia de un mayor desorden o entropía desde un estado inicial de mayor calor y menor entropía. Son las ecuaciones de Ludwig Boltzmann^{1,4,7}, capaces de distinguir el número de microestados de un sistema y la evolución a macroestados de este. Los macroestados son aquellos de máxima entropía, resultado de la evolución desde microestados que siempre son muchos más y con menor entropía. Se trata de un proceso o tendencia irreversible cuyo efecto es en buena parte fruto del azar, que no obstante resulta modelizable y previsible, al menos a nivel de los sistemas cerrados de gases del laboratorio.

La vida, un proceso de gran complejidad, no escapa a estos principios de termodinámica; es más, puede entenderse como una consecuencia directa de la flecha del tiempo de la entropía y del azar. Los macroestados iniciales generan partículas y formas. En este proceso, por puro azar, se fusionarían estructuras, entre las cuales algunas tendrían dos características: la estabilidad y, sobre todo, la capacidad para transmitir información. Con ambas, siempre que estemos en ciclos muy largos como son los propios del universo, se garantizaría la emergencia de la vida. Tenga en cuenta el lector que se trata de sistemas y procesos dilatados que no serían posibles sin las restricciones impuestas por los conceptos fundamentales hasta aquí expuestos. El primero de todos es el del espacio-tiempo, con una estructura y geometría intrínsecas donde tienen lugar todos los fenómenos, desplegándose con arreglo a esa geometría. En ella no cabe, como venimos diciendo, el tiempo mental, sino las leyes propias del espacio-tiempo. Estas incluyen las de la termodinámica, que determinan una tendencia y evolución con esa flecha de sentido único hacia el desorden y la aparición de nuevas formas y estructuras. La flecha del tiempo no va hacia atrás, hacia el orden y la menor entropía, del mismo modo que no podemos recomponer un vaso roto al caerse (como no sea al filmarlo y rebobinar hacia atrás) o lograr que pase calor de una zona más fría a otra más caliente. Con la disolución propia del azar, en sistemas abiertos de la máxima complejidad, la entropía progresiva y creciente se constituye en una vía de cambio que va a dar lugar a nuevas formas, surgidas como decimos por azar, en un mundo de elevada complejidad en el que la matemática de Boltzmann resulta ya poco ilustrativa. El resultado de estas restricciones de la física en ciclos muy largos, de millones de años, es la aparición de formas complejas que, dotadas de la capacidad de transmitir información, se reproducirán para así mantener sus rasgos y funciones⁹.

La vida nace de esa secuencia. La Teoría evolutiva darwiniana la emplazamos después e impone sus propias leyes y restricciones. Explica la supervivencia en ambientes con recursos limitados y cambiantes a los que deben adaptarse las nuevas y sucesivas formas de vida. De estos mecanismos de adaptación, supervivencia y *fitness* saldrán los individuos y especies con más recursos bio-

lógicos, es decir, con las mutaciones adecuadas. No obstante, esta adaptación al entorno no solo aportará ventajas, sino que también va a generar enfermedades por desajuste, entre ellas varias neurológicas, que hemos analizado en otro lugar¹⁰.

Finalmente, de la vida biológica emergerá la cultura, que se transmitirá entre individuos y generaciones dentro del nivel más elevado de complejidad, el social, hasta llegar al mayor desarrollo humano: el moral. Por eso Kant expresó su doble y maravillosa sorpresa: «igual ante el cielo estrellado sobre mí y la ley moral en mí».

EL TIEMPO MENTAL

La idea del tiempo que nos domina es la subjetiva pues, tal como citara Borges siguiendo a Berkeley: «No hay otra realidad que la de los procesos mentales»¹¹. En el mismo texto que esas líneas se lee, algo más abajo, que la mente no es otra cosa que una serie de percepciones. De manera que ellas nos constituirían, aunque no sean más que una pura ilusión. El mejor ejemplo es el color, pues como tal no existe. Se corresponde con diferentes longitudes de onda emitidas por los objetos que nuestra mente transforma en la percepción de color. O la forma, que de nuevo elabora y cierra nuestra mente, como demostró hace un siglo la psicología gestáltica. Si tomamos una experiencia mental más compleja que las anteriores, como el dolor, sucede otro tanto. Por ejemplo, lo sentimos en la mano cuando nos cortamos, aunque es el cerebro el que lo siente, no la mano, a la que lo trasladamos. Esto que ocurre con el dolor «bueno», el nociceptivo o defensivo, es aún más notorio en el caso del dolor neuropático u originado en el propio sistema nervioso, casi siempre como consecuencia de intentos de restauración de la transmisión de señales previamente interrumpidas por la acción de un cerebro al que poco importa lo que nosotros estemos sintiendo o viviendo mientras lo hace¹². Podemos decir que el cerebro nos engaña y que con ello construimos nuestro mundo más propio, el mental e íntimo.

Lo mismo ocurriría con el tiempo, que crea nuestra mente para marcar o sellar los sucesos de nuestra biografía, diferenciando los del ayer de los de hoy, cada uno cargado de una vivencia con emociones diferenciadas. El tiempo siempre existe en alguna mente, o en varias, en cada una con un sentir propio, de manera que, como dice el mismo Borges en un conocido poema, «el tiempo es la sustancia de la que estoy hecho». Somos tiempo (mental) y estamos en el tiempo (físico).

Las percepciones que nos hacen no son nunca aisladas, sino que son sucesivas, en una continuidad de estados de conciencia. Esta sucesión es lo que Bergson llamó la duración o *durée*, que sería lo que encontramos en el fondo de nosotros mismos cuando nos permitimos vivir la vida interior de la conciencia¹³. Esa duración es la mejor prueba de la subjetividad, del sentir propio de las experiencias percibidas que son vividas o recordadas con

mayor o menor intensidad, con mayor o menor duración. La duración necesita (siguiendo a Bergson) que lo que precede penetre a lo que sigue, es decir, continuidad, o, con más precisión aún, memoria.

Construimos la memoria y a su vez la memoria nos hace. Somos nuestra memoria. La construimos con momentos del pasado, creando rebanadas mentales de tiempo que hacemos subjetivas, propias, íntimas. Esculpimos el tiempo, como reza el título de un conocido ensayo del cineasta ruso Andrei Tarkovsky¹⁴. El tiempo en la memoria es el que nos permite ejecutar las tareas de proyección o planificación de nuestro futuro, sea este inmediato o tardío. En ambos casos, se demuestra de nuevo la pura ilusión del tiempo. En las acciones inmediatas se trata de respuestas que muchas veces son automáticas, no conscientes, reacciones de escape o resultado de la actividad de la memoria implícita, mientras que en las planificadas a largo plazo la subjetividad de la memoria es patente y la convierte en un registro de muy pobre valor objetivo, como saben muy bien psicólogos y jueces, pues la memoria personal construye, realmente inventa, fragmentos de memoria y tiempo para dar continuidad a los relatos propios. Pueden llegar a ser historias bien diferentes en torno a un mismo suceso, que en cada mente es distinto, como en la conocida película *Les Girls*, de George Cukor (1957), con tres historias de apariencia casi inconexas que tres personajes cuentan en torno a una misma experiencia vital. Pues distinguimos ayer, hoy y mañana como un mero truco de nuestra mente que nos permite fabricar nuestras historias con fragmentos del pasado y proyecciones hacia el futuro. Se trataría de ficciones adaptativas al medio físico (el espacio-tiempo einsteniano), que sí es real. Estamos ante un puro dispositivo evolucionista, al ser la conciencia la mayor ilusión, que en su forma corporal existiría en el espacio y en la mental en el tiempo. Somos cuerpo en el tiempo.

El procesamiento mental del tiempo subjetivo es un proceso tardío en el desarrollo de la inteligencia del niño. Desde Piaget sabemos que aparece a los 9 años, no antes¹⁵. Requiere entender bien los conceptos de espacio y de velocidad, pues solo entonces se ligarán con la duración, es decir, con el concepto de tiempo. Piaget conoció a Einstein y su teoría, que comprendió bien y que elogió, igual que Einstein sus investigaciones¹⁶. Para uno y para otro el tiempo es complementario del espacio. Otro tanto ocurre con el lenguaje, en el que, en general, el tiempo se expresa mediante conceptos o metáforas espaciales¹⁷. Así, decimos que «el verano está cercano», «los años de colegio nos quedan ya lejanos», «este joven tiene todo un futuro por delante» o «su historia profesional quedó atrás». Los ejemplos son innumerables, mucho más raros en sentido inverso: metáforas temporales para expresar conceptos espaciales. Para nuestra mente, el tiempo se elabora a partir del espacio, igual que en la relatividad especial aquel es una dimensión de este. Para ambos conceptos se necesita de una capacidad de cuantificación o numérica. Y los números tienen una representación

TABLA 1. Algunos trastornos de la percepción del tiempo

Trastornos	Lesión/origen
– Trastornos del neurodesarrollo	– Difusa, varias
– Demencias degenerativas	– Afectación parietal o prefrontal
– Síndromes confusionales	– Habitualmente hay lesiones preexistentes – Cambios agudos de neuromoduladores
– Heminegligencia izquierda (errores biográficos)	– Lóbulo parietal derecho
– Experiencias de despersonalización/desrealización – Asociados a ansiedad (evidente o no)	– Drogas: LSD, alcohol, otras – Casos aislados de ELA, esclerosis múltiple, neuroborreliosis, otras – Cefalea en racimos
– Culturales: cortoplacismo – Sociales: miopía social	– Deficiencias morales o legales

LSD: dietilamida de ácido lisérgico; ELA: esclerosis lateral amiotrófica.

que utiliza circuitos compartidos con las representaciones de espacio y de tiempo. El lugar es el lóbulo parietal, al que las modernas antropología y paleontología otorgan un valor específico que nos define como humanos al mismo nivel, si no superior, que el prefrontal^{18,19}. La representación numérica en el lóbulo parietal es lineal y de izquierda a derecha. Sin esta, sería imposible comprender la compleja codificación del tiempo que hacemos los humanos. En cambio, el lóbulo prefrontal se encargaría de los viajes mentales en el tiempo, propios de la planificación.

Conocido la anterior, no sorprende que en las lesiones del lóbulo parietal inferior derecho que cursan con anosognosia y heminegligencia espacial izquierda exista también limitación para situar la información de pasado y de futuro en la línea mental temporal, dando lugar a incapacidad para contextualizar en el tiempo los recuerdos²⁰. Del mismo modo, las células del hipocampo que sitúan las coordenadas espaciales con precisión en animales y humanos descargan de manera específica para unas distancias y no para otras, igual que para unas duraciones de recorrido y no para otras, variables indicativas de que estas mismas células codifican espacio y tiempo²¹. Por tanto, la evidencia neuropsicológica, lingüística, clínica y neurofisiológica concurren con la genialidad einsteniana del espacio-tiempo como concepto.

En la tabla 1 se muestran diferentes trastornos que cursan con alteraciones en la percepción mental del tiempo, sin duda familiares en nuestra especialidad y en las afines. Merece la pena concluir citando trastornos no propiamente individuales, sino sociales, debidos a alteraciones en la percepción del tiempo cuyas consecuencias serán igualmente sociales. Nos referimos al cortoplacismo de gestores o gobernantes, o a lo que Buonomano llama miopía temporal¹⁶, es decir, acciones que ignoran las consecuencias a largo plazo sobre sociedades o ecosis-

temas. Son ejemplos de lo que podemos denominar cronosognosia, una trastorno transdisciplinario cuya descripción presenciaremos en los próximos años.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ismael J. Time. A very short introduction. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press; 2021.
2. Einstein A. The world as I see it. Create Space Independent Publishing Platform; 2014.
3. Hawking S. Historia del tiempo. Del Big Bang a los agujeros negros. Barcelona: RBA Editores; 1993.
4. Bueti D, Buonomano DV. Temporal perceptual learning. *Timing Time Percept.* 2014;2(3):261-89.
5. Einstein A. On a stationary system with spherical symmetry consisting of many gravitating masses. *Ann Mathematics.* 1939;40:922-36.
6. Observación de ondas gravitacionales procedentes de la fusión de un sistema binario de agujeros negros [Internet]. LIGO Scientific Collaboration; [acceso: 1 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.ligo.org/detections/GW150914/science-summary/spanish.pdf>
7. Rovelli C. El orden del tiempo. Barcelona: Editorial Anagrama; 2018.
8. Borges JL. La doctrina de los ciclos. En: Historia de la Eternidad. Madrid: Alianza Editorial; 1981. pp. 81-94.
9. Charlesworth DB. Evolution. A very short introduction. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press; 2017. pp. 40-60.
10. Álvaro LC. Migración y teoría evolutiva. Vías para un acercamiento clínico. *Rev Neurol.* 2016;63:315-25.
11. Borges JL. Nueva refutación del tiempo. En: Borges Esencial. Real Academia Española de la Lengua; 2017.
12. Álvaro LC. ¿Y si la conciencia nos engaña? En: Álvaro LC. Viaje neurológico por la conciencia. Madrid: Europa Ediciones; 2021. pp. 62-91.
13. Bergson H. Historia de la idea del tiempo. Barcelona: Editorial Paidós; 2017. pp. 92-93.
14. Tarkovsky A. Esculpir en el tiempo. Madrid: Editorial Rialp; 1996.
15. Piaget J. El nacimiento de la inteligencia del niño. Barcelona: Editorial Crítica; 2000.
16. Buonomano D. Your brain is a time machine. The neuroscience and physics of time. New York, USA: WW Norton and Company; 2017. pp. 179-214.
17. Núñez R, Cooperrider K. The tangle of space and time in human cognition. *Trends Cogn Sci.* 2013;17(5):220-9.
18. Mateos Maroto FJ. En el principio fue el número. La humanidad aprende a contar. Madrid: RBA Coleccionables; 2016. pp. 6-19.
19. Agustí J, Bufill E, Mosquera M. El precio de la inteligencia. La evolución de la mente y sus consecuencias. Barcelona: Editorial Crítica; 2012.
20. Saj A, Fuhrman O, Vuilleumier P, Boroditsky L. Patients with left spatial neglect also neglect the "left side" of time. *Psychol Sci.* 2014;25(1):207-14.
21. Kraus BJ, Robinson RJ 2nd, White JA, Eichenbaum H, Hasselmo ME. Hippocampal "time cells": time versus path integration. *Neuron.* 2013;78(6):1090-101.